

Tungmetaller til havre

I. Avlinger

Heavy metals to oats

I. Crop yields

Av professor Asbjørn Sorteberg

Innledning

I to tidligere publikasjoner er resultatene av de første år fra to karforsøk med tilsetning av tungmetaller til havre (F.73 og F.74) til og med 1976 beskrevet (Sorteberg 1974, 1978). Forsøkene ble avsluttet i 1983. For å få et noenlunde bilde av hva tidsfaktoren har betydd i disse

langvarige forsøkene, har en funnet det hensiktsmessig også å ta med resultatene fra de første årene.

F.73 som startet i 1973, hadde tre serier for jord, med følgende karaktertrekk av jorda ved starten:

Jord-serie	pH	Org. stoff, %	Kation-bytkap., m.e./100 g	Base-metn., %	Kornstørrelsesfordeling, %			
					mm			
					2-0,2	0,2-0,02	0,02-0,002	<0,002
I. Leirjord	5,0	7,9	22,4	5,6	3	10	41	38
V. Torvjord	3,7	99,1	108,7	4,8				
VI. Sandjord	5,0	2,9	7,4	3,5	78	11	4	4

Mineraljordene var tidligere dyrket, mens torvjorda var tatt fra ei udyrket kvitmosemyr.

Ved starten ble de ulike jordserier tilført disse mengder CaCO_3 pr. kar a 5 liter, i det videre benevnt for liten kalkmengde (A) og stor kalkmengde (B):

Serie	I A:	5,0 g
Serie	V A:	12,5 g
Serie	VI A:	0 g
Serie	I B:	25 g ¹⁾
Serie	V B:	25 g ¹⁾
Serie	VI B:	12,5 g ¹⁾

Hver jordserie og hvert kalkledd ble separat tilført tungmetallene kadmium (Cd), nikkel (Ni), kvikksølv (Hg), bly (Pb) og kobolt (Co) i mengder på henholdsvis 50 og 250 mg metall pr. kar²⁾, til sammenligning med ledd *uten* metall. Alle metaller ble tilført som klorid.

På det tidspunktet dette forsøket startet, var en noe usikker på hvilke meng-

¹⁾ Svarer pr. dekar til: 5 g = 200 kg, 12,5 g = 500 kg, 25 g = 1.000 kg.

²⁾ Svarer pr. dekar til henholdsvis 2 kg og 10 kg.

der av tungmetaller det ville være rimelig å prøve. Allerede første året ble det klart at for kadium og kvikksølv var spranget fra ledd *uten* til 50 mg metalltilførsel stort. For å bøte på dette ble et nytt forsøk med de samme jordarter og med samme kalkdosering startet der virkningen av henholdsvis 0,5 og 5 mg metall pr. kar kunne måles (F.74).

Den primære hensikt med forsøkene var å undersøke opptaket av tungmetaller i plantene, sekundært å måle virkningen på avlingsstørrelsen. En fant det derfor forsvarlig å ha bare to paralleller.

På den annen side hadde en for alle ledd med et tredje kar uten planter der det ble tatt jordprøver til kjemisk analyse.

Fra starten omfattet F.73 også tre ulike *blandinger* av leirjord og torvjord (seriene II, III og IV). Disse ble avsluttet etter hvert, da resultatene ikke brakte særlig nytt. De blir derfor ikke omtalt.

Alle ledd med tilførsel av bly ble avsluttet i 1977, og ledd med tilførsel av kvikksølv ble avsluttet i 1978, da virkningen av disse metaller på det nærmeste hadde opphørt.

Tabell 1. F. 73. Havre, relativ tørrstoffavling av korn + halm for 250 mg metall pr. 5 liters kar (sv. til 10 kg pr. dekar) i forhold til kontrolledd.

Table 1. Exp. 73. Oats, relative yield of dry matter (grain + straw) for 250 mg metal per 5 litre pot (corresp. to 100 kg per hectare) compared to no metal added.

Serie I. Leirjord Series I. Clay soil						
År Year	Cd		Ni		Co	
	Sv.k. ¹⁾ L.I. ¹⁾	St.k. ²⁾ H.I. ²⁾	Sv.k. L.I.	St.k. H.I.	Sv.k. L.I.	St.k. H.I.
1973-76	84	89	56	100	71	92
1977-80	108	98	121	102	121	111
1981-83	119	99	126	98	124	113
M. 1973-83	102	95	99	100	104	104
Serie V. Torvjord Series V. Peat soil						
1973-76	84	76	61	100	80	93
1977-80	87	119	95	98	64	107
1981-83	101	88	99	95	76	91
M. 1973-83	90	95	84	98	72	96
Serie VI. Sandjord Series VI. Sandy soil						
1973-76	91	83	63	97	79	102
1977-80	104	87	107	97	100	98
1981-83	100	97	115	96	111	98
M. 1973-83	98	88	93	97	96	99

¹⁾ Sv.k. = Svak kalking.

¹⁾ L.I. = Light liming.

²⁾ St.k. = Sterk kalking.

²⁾ H.I. = Heavy liming.

Avlingsstørrelser

Blytilførsel hadde ingen virkning på avlingens størrelse om en ser bort fra at ved sterkeste kalking førte største mengde til moderat manganmangel i 1975 og 1976. Manganmangel opptrådte ellers spredt også ved tilførsel av andre tungmetaller og også i ledd uten tungmetaller, særlig i siste del av forsøksperioden, selv om det da ble tilført mangan. Materialet er ellers for spinkelt (og observasjonene ikke omfattende nok) til å trekke avgjørende konklusjoner om denne mangel.

Største mengde *kvikksølv* førte til nærmest full misvekst ved begge kalkmengder i sandjordserien første året. Ved svak kalking fant en misvekst også andre året. Også 50 mg kvikksølv ser ut til å ha redusert avlingen første året. I de andre jordseriene var det ca. 20% avlingsreduksjon for største kvikksølv-mengde. Fra og med tredje forsøksår var avlingen av normal størrelse i alle serier.

For de andre tungmetaller var det bare største mengde som førte til tydelig redusert avling. I tabell 1 er virkningen av kadmium, nikkel og kobolt derfor bare vist for største mengde. Tallene er relative avlinger for korn + halm i forhold til ledd *uten* metall. For å se om materialet tyder på noen trend, er mid-deltall beregnet for etter tur 1973-76, 1977-80 og 1981-83.

Avlingstallene i tabell 1 er altså mid-del av to paralleller. Med dette i minne kan det være av interesse å jevnføre disse tall med noteringer som ble gjort i vekst-tiden:

For største mengde *kadmium* var det veksthemming, forsinket skyting og/eller forsinket modning, særlig de første årene og mest i mineraljordseriene. Modningen ble forsinket med opptil ei

uke. Det var ingen tydelig forskjell på de to kalkledd. Forsinket skyting og forsin- ket modning ble også observert ved den mindre kadmiummengden (50 mg), men de negative effektene var langt mindre fremtredende her.

Ved stor mengde *nikkel* var det vekst- hemming i første periode, særlig ved minste kalkmengde. Forsinket skyting og/eller forsinket modning forekom ett eller flere år i alle jordserier. Hyppigst forekom dette i de første år og i torvjord- serien. Negative effekter var i alle jord- serier tydeligst ved svak kalking. Symp- tomer på nikkelskade i F.73 er beskrevet før av Sorteberg (1974).

Stor mengde *kobolt* har ført til forsin- ket skyting de fleste år i begge kalkledd i begge mineraljordserier, og i ett enkelt år også ført til utsatt modning i leirjord- serien. Ved svak kalking var avlingen også tydelig mindre de første år, særlig i sandjordserien. Det er likevel i torvjord- serien kobolt har ført til størst ubalanse. Ved svak kalking har stor koboltmengde de fleste år på et tidlig stadium ført til tydelig klorose mellom bladnervene. Av utseende synes den identisk med den form for klorose som er kjent som jern- mangel i markforsøk på myr og fra kar- forsøk med torvjord (Sorteberg 1947, 1961). Opp til 10 dagers forsinket sky- ting og modning ble notert.

Avlingsreduksjonen etter kobolttil- førsel i torvjordserien med svak kalking fortsetter gjennom hele forsøksperi-oden, mens den for kadmium og nikkel etter alt å dømme opphører etter 5-6 år.

Avlingstallene i tabell 1 indikerer at skadevirkninger av metallene har opp- hørt i løpet av annen periode, med unn- tak av kobolt i torvjord. Noteringer i veksttiden tyder ellers på at under gun- stige vekstforhold i veksthus har plantene hatt stor evne til å kompensere for tyde-

lig veksthemming ved å forlenge veksttiden. Sannsynligvis ville skadevirkningen blitt tydeligere og avlingsreduksjonen større ved dyrking på friland. Mindre metallmengder ville trolig gitt avlingsreduksjon under slike forhold.

Innhold av tungmetaller i avlingen

Innholdet av alle tungmetaller er bestemt i korn og halm hvert år i ledd uten tungmetalltilsetning. Dertil er inn-

holdet av det tilsatte tungmetall bestemt i de ledd dette omfatter. Analysemetodene er beskrevet av Sorteberg (1974).

Analysesetallene for kadmium, nikkel og kobolt framgår av tabellene 2-4. For at tabellene ikke skal bli for store og uoversiktelige, er tallene delvis presentert som middel for to eller flere år når den årlige variasjon har vært moderat. For kadmium og kobolt viser tallverdiene for ledd *uten* tilsetning ingen trend gjennom forsøksperioden. Innholdet

Tabell 2. Cd i havre, mg/kg tørrstoff.

F. 73. 1973-83. Tilsatt Cd/kar henholdsvis 0, 50 og 250 mg.

F. 74. 1974-83. Tilsatt Cd/kar henholdsvis 0, 0,5 og 5 mg.

Jord-serie <i>Soil series</i>	År <i>Year</i>	Korn <i>Grain</i>									
		Svak kalking <i>Light liming</i>					Sterk kalking <i>Heavy liming</i>				
		Cd,mg/kar <i>Cd,mg/pot</i>									
		0	0,5	5	50	250	0	0,5	5	50	250
I	1.–2.		0,11	0,68	6,2	12		0,07	0,80	2,7	6,0
	3.–7.	0,09	0,13	0,42	3,3	6,1	0,07	0,11	0,28	1,6	3,8
	8.–11.		0,11	0,33	2,6	6,1		0,07	0,21	1,6	3,4
V	1.		0,51	2,9	7,7	17		0,43	2,59	6,4	12
	2.–3.		0,28	2,0	11/7 ¹⁾	16		0,22	1,47	4,1	6,7
	4.–7.	0,08	0,28	1,8	3,3	5,6	0,06	0,13	0,56	2,3	4,2
	8.–9.		0,12	0,69	2,6	6,0		0,08	0,32	1,9	3,8
	10.–11.		0,08	0,40	2,3	4,5		0,08	0,38	2,1	3,4
VI	1.		0,28	1,6	10	25		0,25	0,92	2,9	9,5
	2.	0,15	0,13	0,88	5,3	11	0,10	0,06	0,41	2,1	5,8
	3.–7.		0,19	0,49	3,4	5,8		0,14	0,29	2,4	4,8
	8.–11.		0,10	0,31	2,4	4,8		0,08	0,22	1,4	3,0

¹⁾ Henholdsvis første og annet av to påfølgende år.

¹⁾ *Respectively the first and second year.*

har flere år vært mindre enn laboratoriet har kunnet bestemme. For kontroll-ledene er derfor *middelverdien* for hele forsøksperioden beregnet. I noen få tilfeller har analysetallet av ukjent grunn falt utenfor tallrekken for forsøksperioden. Tallet er da sløffet i sammenstillingen. Koboltanalysene de to siste år er sløffet for alle serier som følge av svikt i visse ledd ved analysen av dette metall.

Kadmium

Analysetallene for innhold i avling framgår av tabell 2. I tabellen inngår også tall

for de små doseringer i F.74, henholdsvis 0,5 og 5 mg.

Fellestrekk for samtlige jordserier er sterkt stigende innhold ved stigende tilsetning av kadmium, sterkt avtakende innhold i løpet av forsøksperioden i ledd med tilsetning og tydelig nedgang i innholdet ved største kalkmengde. Kalkeeffekten har vært størst i ledd med høyest kadmiumtilsetning. Torvjordserien (serie V) viser likevel til dels et noe avvikende mønster, særlig sammenlignet med leirjordserien (serie I), ved at inn-

Table 2. Cd in oats, mg/kg dry matter.

Exp. 73. 1973-83. Added Cd/pot respectively 0, 50 and 250 mg.

Exp. 74. 1974-83. Added Cd/pot respectively 0, 0,5 and 5 mg.

År	Halm Straw									
	Svak kalking Light liming					Sterk kalking Heavy liming				
Year	Cd,mg/kar Cd,mg/pot									
	0	0,5	5	50	250	0	0,5	5	50	250
1.—2.		0,18	0,64	11	48/32 ¹⁾		0,10	0,26	2,7	12,8
3.—7.	0,16	0,16	0,32	6,2	14	0,14	0,16	0,22	1,9	4,9
8.—11.		0,10	0,26	3,3	10		0,07	0,11	1,3	2,5
1.		0,81	6,0	38	121		0,72	4,8	33	91
2.—3.		0,89	6,5	35/18 ¹⁾	80		0,65	4,7	11/8 ¹⁾	27/12 ¹⁾
4.—7.	0,14	0,53	3,5	11	26	0,12	0,21	0,63	4,4	12
8.—9.		0,13	0,69	5,2	18		0,10	0,28	2,4	7,4
10.—11.		0,09	0,30	5,2	14		0,08	0,28	2,9	6,0
1.		0,39	1,4	26	113		0,33	0,84	6,7	23
2.	0,16	0,44	1,4	7,8	38	0,14	0,04	0,19	2,0	8,5
3.—7.		0,19	0,34	3,3	13		0,16	0,22	1,4	6,9
8.—11.		0,07	0,14	1,7	4,9 ²⁾		0,06	0,09	0,7 ²⁾	1,9 ²⁾

²⁾ Tallet er sannsynligvis for lågt.

²⁾ The figure is probably too low.

holdet er høyere i første delen av forsøksperioden.

Minste mengde (0,5 mg) har ikke ført til økt innhold i leirjordserien og liten eller ingen økning i sandjordserien, med unntak av første og delvis andre året. For torvjordserien er innholdet derimot flerdoblet ved denne mengde i de tre første årene, og virkningen opphører først mot slutten av forsøksperioden. Nest minste mengde (5 mg) har i de fleste tilfelle ført til en mangedobling av innholdet de første årene i alle jordserier, både i korn og halm. Særlig stiger innholdet sterkt i torvjordserien. Unntak finner en i halmen i leirjordserien ved sterk kalking, der økningen er moderat. I de siste år av forsøksperioden avtar virkningen av denne mengden i halm, mens virkningen ennå er meget tydelig for korn. For nest største mengde (50 mg) er innholdet, selv mot slutten av forsøksperioden, ca. det 10-30-dobbelte både i korn og halm, og for største mengde kadmium (250 mg) er det ytterligere fordobling. Bruk av jord med en slik mengde kadmium med henblikk på å produsere matnyttige vekster vil etter alt å dømme by på store problemer i lang tid framover.

Innholdet i korn og halm endrer seg forskjellig alt etter mengden av tilført kadmium. Mens det ved flere sammenligninger er like høgt innhold i korn som i halm så lenge tilsetningen av kadmium er moderat, er det mye større i halm ved største kadmiummengde. I så henseende er opptaket av kadmium parallelt med opptaket av mange av plantenes næringsstoffer.

Nikkel

Innholdet av nikkel i avlingen framgår av tabell 3. I hovedtrekk viser de tre jordserier samme mønster for nikkel-

opptak som for kadmiumopptak, med sterk økning i innhold for økt mengde, og avtagende innhold mot slutten av forsøket og ved økt kalkmengde.

I kontrollledd går innholdet av nikkel i korn og halm tydelig ned fra forsøkets begynnelse til slutt i alle jordserier, i motsetning til hva som er tilfellet for kadmium og kobolt. Dette indikerer at ingen av jordartene har klart å mobilisere de metallmengder avlingene har ført bort ved den skjerming av stofflig tilførsel en får i et veksthus, kanskje også ved økt opptak de første år ved de gunstigere klimaforhold et veksthus byr på.

I leirjordserien har ledd uten nikkeltilsetning ved svak kalking de første år et innhold i korn på ca. 3,0-3,5 mg nikkel og i underkant av 1 mg i halm. Betrakter en dette som «normalinnhold», har nikkelinnholdet knapt overskredet disse verdier for hele forsøksperioden i denne jordserie for tilsetning av 50 mg nikkel ved den sterke kalkingen. Sammenholder en disse «normalverdier» med innholdet i sandjordserien ved sterk kalking svarer dette omtrent til innholdet i 7.-10. forsøksår for både korn og halm. For 250 mg nikkel er innholdet i leirjordserien ved sterk kalking etter 9-11 år kommet ned i «normale» verdier både for korn og halm. For sandjordserien kommer innholdet i halm ned i «normalverdier» i siste forsøksår, mens innholdet i korn fortsatt er ca. dobbelt så stort. I torvjordserien er innholdet av nikkel mye høyere, og det ville antakelig gått flere år før det ville blitt «normalverdier» i korn, selv med en dosering på 50 mg nikkel.

Det vesentlig høyere innhold av nikkel i korn enn i halm går igjen alle år. I så måte skiller havre seg ut fra de andre kornarter vi vanligvis dyrker hos oss.

Tabell 3. F. 73. 1973-83. Nikkel i havre, mg/kg tørrstoff.

Table 3. Exp. 73. 1973-83. Nickel in oats, mg/kg dry matter.

Jord- serie <i>Soil series</i>	År <i>Year</i>	Korn <i>Grain</i>						Halm <i>Straw</i>					
		Svak kalking <i>Light liming</i>			Sterk kalking <i>Heavy liming</i>			Svak kalking <i>Light liming</i>			Sterk kalking <i>Heavy liming</i>		
		Ni,mg/kar <i>Ni,mg/pot</i>						Ni,mg/kar <i>Ni,mg/pot</i>					
		0	50	250	0	50	250	0	50	250	0	50	250
I	1.-3.	3,3	22	63	1,0	3,5	11	0,65	3,1	27	0,75	0,36	1,15
	4.-5.	3,6	13/18 ¹⁾	49	0,92	3,4	12	0,85	2,1	12	0,79	1,17	1,5
	6.-8.	2,2	9,8	29	0,59	1,6	5,3	0,71	1,2	5,2	0,63	0,70	0,97
	9.-11.	1,0	4,6	18	0,32	0,74	3,0	0,43	0,47	2,3	0,20	0,27	0,53
V	1.-3.	1,0	69	111	0,25	35	79	0,87	21	76	0,50	7,8	33
	4.-6.	0,95	46	77	0,30	15	52	0,66	11	43	0,66	3,6	17
	7.-9.	0,50	24	79	0,32	13	51	0,48	4,8	35	0,52	2,3	13
	10.	0,29	19	59	0,20	14	42	0,17	3,3	21	0,18	1,4	8,7
	11.	0,20	9,4	40	0,14	8,6	36	0,1	1,5	14	0,1	1,0	8,5
VI	1.	1,2	36	164	1,2	12	48	²⁾	10	149	²⁾	³⁾	17
	2.-3.	1,4	23	87/62 ¹⁾	0,56	6,3/9 ¹⁾	36/26 ¹⁾	0,80	2,7	56/29 ¹⁾	0,80	0,33	7/3,6 ¹⁾
	4.-6.	1,1	14	37	0,54	4,9	19	0,77	1,9	8,4	0,78	1,1	3,4
	7.-10.	0,65	6,2	28	0,44	3,3	11	0,47	0,96	4,6	0,44	0,78	2,0
	11.	0,28	3,0	14	0,19	1,7	6,4	0,14	0,32	1,8	0,1	0,25	0,65

¹⁾ Henholdsvis første og annet av to påfølgende år.

¹⁾ *Respectively the first and second year.*

²⁾ Ikke målbar mengde.

²⁾ *Immeasurable amount.*

³⁾ Analysefeil.

³⁾ *Analysis error.*

Kobolt

Innhold av kobolt i avlingen framgår av tabell 4.

Tabell 4. F. 73 1973-81. Kobolt i havre, mg/kg tørrstoff.
Table 4. Exp. 73. 1973-81. Cobalt in oats, mg/kg dry matter.

Jord- serie <i>Soil series</i>	År <i>Year</i>	Korn <i>Grain</i>						Halm <i>Straw</i>					
		Svak kalking <i>Light liming</i>			Sterk kalking <i>Heavy liming</i>			Svak kalking <i>Light liming</i>			Sterk kalking <i>Heavy liming</i>		
		Co,mg/kar <i>Co,mg/pot</i>						Co,mg/kar <i>Co,mg/pot</i>					
		0	50	250	0	50	250	0	50	250	0	50	250
I	1.—2.	2,1	10		0,48	1,8		7,7	50/25 ¹⁾		1,4	3,9	
	3.—5.	0,24	1,3	4,5	0,19	0,35	0,92	0,60	3,4	10	0,60	0,95	1,7
	6.—7.		0,84	1,7		0,30	0,46		2,8	5,4		0,85	1,3
	8.—9.		0,54	1,1		0,20	0,30		1,6	4,0		0,65	0,90
V	1.	5,6	25		3,1	13		29	115		19	60	
	2.	0,25	3,9	15	0,22	1,8	5,5	0,42	18	73	0,47	8,1	27
	3.—7.		2,8	16		1,2	6,9		9,9	68		3,8	25
	8.—9.		0,9	20		0,43	3,9		5,4	97		1,8	18
VI	1.	2,8	16		1,5	2,9		17	73		4,1	16	
	2.—3.		1,2	8,0		0,65	1,7		3,3	31/17 ¹⁾		1,8	6,6/1,7 ¹⁾
	4.—5.	0,24	0,63	5,8	0,21	0,26	1,3	0,62	1,4	11	0,54	1,1	1,9
	6.—7.		0,25	1,9		0,23	0,38		0,68	4,1		0,68	0,98
	8.—9.		0,22	0,77		0,20	0,28		0,55	1,7		0,66	0,74

¹⁾ Henholdsvis første og annet av to påfølgende år.

¹⁾ *Respectively the first and second years.*

I begge mineraljordserier er det en sterk økning i innholdet både i korn og halm etter kobolttilsetning. Innholdet går sterkt ned fra start til avslutning i ledd med kobolttilsetning. Økt kalking kombinert med kobolttilsetning har redusert innholdet sterkt, mens kalking har liten effekt i ledd uten kobolt. Innholdet i de to mineraljordserier etter kobolttilsetning er ellers noenlunde likt bortsett fra det første året, da innholdet er høyere i sandjordserien enn i leirjord-

serien. Ved sterk kalking og 50 mg kobolttilsetning er innholdet i disse to serier i de siste år i forsøksperioden tilnærmet lik innholdet i ledd uten tilsetning, både i korn og halm. Innholdet etter 250 mg var samme tid ca. 50% større enn innholdet i kontrollledd.

Ved liten kalkmengde har økningen i koboltinnholdet ved 50 mg tilsetning ebbet ut i 8.-9. forsøksår både for korn og halm i sandjordserien, mens innholdet i leirjordserien fortsatt er det 2-3-

dobbelte sammenlignet med ledd uten tilsetning. I ledd med 250 mg er innholdet både i korn og halm ved forsøkets slutt det 4-7-dobbelte av innholdet i ledd uten tilsetning i leirjordserien, og ca. det tredobbelte i sandjordserien.

I torvjordserien øker innholdet av kobolt i ledd med tilsetning mye mer enn i mineraljordseriene. Økt kalking har også her bremset opptaket sterkt i ledd med tilsetning. For 50 mg kobolt er det sterk reduksjon i koboltinnholdet i løpet av forsøksperioden for både korn og halm ved begge kalkmengder. Det er en sterk reduksjon i ledd med 250 mg ved største kalkmengde, men ved minste kalkmengde er bildet noe annerledes. Selv en periode på 9 år har her ikke vært lang nok til å kunne redusere innholdet så det betyr stort. For korn er det således fortsatt 80 ganger så høgt som uten kobolt og for halm mer enn det 200-dobbelte. Dette faller godt sammen med den observerte skadevirkningen på

veksten ved største koboltmengde i denne jordserie, som ved liten kalkmengde var tydelig gjennom hele forsøksperioden.

Kvikksølv

Tabell 5 gir en oversikt over innhold av kvikksølv i korn og halm fra første og fjerde forsøksår, henholdsvis 1973 og 1976. Da det i sandjordserien (serie VI) i 1973 nesten ikke ble avling ved største mengde kvikksølv, er tall for innhold ikke tatt med fra denne serie dette året. Også for de to andre jordserier var avlingen noe redusert dette året, men den var ikke unormalt liten. I 1976 var avlingen av normal størrelse i alle serier ved alle forsøksbehandlinger. Da den ulike kalking ikke ser ut til å ha hatt noen tydelig virkning på innholdet av kvikksølv, er tallene i tabellen middel for kalkledd.

Tabell 5. F. 73, 1973-76. Kvikksølv i havre, $\mu\text{g/kg}$ tørrstoff. Middel av kalkmengder.
Table 5. Exp. 73, 1973-76. Mercury in dry matter of oats, $\mu\text{g/kg}$. Mean of lime added.

Jord-serie <i>Soil series</i>	År <i>Year</i>	Korn <i>Grain</i>			Halm <i>Straw</i>		
		Hg, mg pr. kar <i>Hg, mg per pot</i>					
		0	50	250	0	50	250
I	1.	7	32	156	57	112	1150
	4.	10	10	12	21	29	24
V	1.	44	225	470	84	725	8500
	4.	< 4	7	10	16	48	29
VI	1.						
	4.	4	10	6	23	23	27

Økningen i kvikksølvinnhold ved tilsetning er første året meget stor i alle jordserier. En fant f.eks. ca. 20-dobling etter største kvikksølvmengde både i korn og halm i leirjordserien (serie I), ca. 10-dobling av innholdet i korn og ca. 100-dobling av innholdet i halm i torvjordserien (serie V).

Innholdet i avlingen 4. året har i alle serier avtatt sterkt. Bare i torvjordserien er det økt innhold etter kvikksølvtilsetning, særlig i halm. Innholdet er imidlertid mindre enn i ledd uten tilsetning i 1. år. En merker seg ellers at det er større innhold i halm enn i korn, noe som er tydeligst så lenge kvikksølvtilgangen var rikelig.

I 1977 og 1978 var innholdet i korn i de fleste prøver under den terskelverdi laboratoriet kunne bestemme. I halmen var det i 1977 en antydning til økning i innholdet ved økt mengde kvikksølv innenfor et område på 15-32 μg kvikksølv pr. kg tørrstoff. I 1978 var det ingen lignende tendens.

I F. 74 førte 0,5 mg kvikksølv til økt innhold i halmen i serie V og serie VI de første årene.

Bly

Av de fem tungmetaller som har vært med i forsøket, er bly det som har virket minst på innholdet i havre.

I de to mineraljordseriene var det grovt regnet 25-50 pst. økning i blyinnholdet de to første år og ca. 10 pst. økning i de påfølgende to år. Avlingen i 1977 ble også analysert, men av uvis grunn ble analysetallene urimelig høge både uten og med blytilsetning. Forskjellen i blyinnholdet ved ulike kalkmengder har vært små og tilfeldige.

I torvjordserien var økningen i blyinnholdet ved tilsetning betydelig større enn i mineraljordseriene, særlig ved liten kalkmengde. Tall for innhold i denne serie finnes i tabell 6.

Tabell 6. F. 73. Serie V. Bly i havre, mg/kg tørrstoff.

Table 6. Exp. 73. Series V. Lead in dry matter of oats, mg/kg.

År Year	Korn <i>Grain</i>						Halm <i>Straw</i>					
	Svak kalking <i>Light liming</i>			Sterk kalking <i>Heavy liming</i>			Svak kalking <i>Light liming</i>			Sterk kalking <i>Heavy liming</i>		
	Pb, mg pr. kar <i>Pb, mg per pot</i>											
	0	50	250	0	50	250	0	50	250	0	50	250
1973–74	0,34	0,72	2,6	0,34	0,40	0,95	1,4	4,8	15	1,6	2,1	6,7
1975–76	0,25	0,57	2,5	0,18	0,26	0,25	1,2	3,7	14	1,4	1,9	3,6

Tabell 7. F. 73. Opptak av tungmetaller i havre (korn + halm) i årene 1973-83 i pst. av tilført.
For kobolt 1973-81.

Table 7. Exp. 73. Uptake of heavy metals in oats (grain + straw) for the period 1973-83 in per cent of added. For cobalt 1973-81.

Jord- serie	Tung- metall	Svak kalking <i>Light liming</i>		Sterk kalking <i>Heavy liming</i>	
		Tungmetaller, mg/kar <i>Heavy metals, mg/pot</i>			
<i>Soil series</i>	<i>Heavy metals</i>	50	250	50	250
I	Cd	5,9	2,6	2,2	1,0
	Ni	6,9	4,4	0,9	0,9
	Co	1,8	1,2	0,3	0,2
V	Cd	13,9	7,1	7,4	2,9
	Ni	36,8	13,3	14,9	10,1
	Co	8,4	7,7	3,8	3,6
VI	Cd	5,1	3,1	2,1	1,1
	Ni	8,0	5,5	2,7	2,3
	Co	1,3	1,7	0,3	0,3

Relativt opptak av tungmetaller og fordeling av opptaket mellom korn og halm

Tabell 7 viser det totale opptak av kadmium, nikkel og kobolt i avlingen gjennom hele forsøksperioden, i prosent av tilsatte mengder ved starten.

Metalloptaket gjenspeiler det relative innhold i avling som er vist i tabellene 2-4, med de variasjoner som avlingsstørrelsen i de ulike ledd fører til.

Av kobolt er det opptatt en tilnærmet like stor prosentdel av tilsatt for de to mengder, dvs. det er grovt sett proporsjonalitet mellom tilsetning og opptak. For de to andre metaller har det prosentiske opptaket oftest vært betydelig større ved liten enn ved stor mengde.

Opptaket er ofte betydelig redusert ved økt kalking. For kobolt er opptaket i mineraljordseriene da bare 0,2-0,3 pst.

Opptaket av kobolt er ellers vesentlig mindre enn for de to andre metaller, og når ikke i noe ledd opp i to prosent av tilsatt.

Opptaket i torvjordserien er for alle metaller vesentlig større enn tilsvarende ledd i mineraljordseriene. For nikkel er nærmere 37 pst. av liten mengde i torvjord opptatt ved svak kalking. For mineraljordseriene er det største opptak, også her av nikkel, 8 pst. av tilført, dvs. at mer enn 90 pst. er fortsatt igjen i jorda.

Tabell 8 viser fordelingen mellom korn og halm av de opptatte mengder av de tre metaller. Da det oftest var moderate forskjeller mellom de to kalkmengder, er tallene i tabellen middeltall for kalkmengder.

Tabell 8. F. 73. Prosentvis fordeling av tungmetallene i avlingen for korn og halm i forsøksperioden. Middel av kalkmengder.

Table 8. F. 73. Percentage distribution of heavy metals in grain and straw in the experimental period. Mean of lime added.

Tung- metall <i>Heavy metals</i>	Jord- serie <i>Soil series</i>	Korn <i>Grain</i>		Halm <i>Straw</i>	
		Tungmetaller, mg/kar <i>Heavy metals, mg/pot</i>			
		50	250	50	250
Cd	I	46	39	54	61
	V	23	18	77	82
	VI	48	36	52	64
Ni	I	96	88	4	12
	V	79	67	21	33
	VI	92	76	8	24
Co	I	23	30	77	70
	V	15	18	85	82
	VI	15	22	85	78

Av tabell 8 framgår det at prosenttallene for de to mineraljorder varierer lite. Bare for største mengde nikkel er det noe større forskjell. Torvjordserien viser for alle tungmetaller en forskyvning til høyere prosentandel for halm. Ellers viser tabellen en langt større andel av opptatt nikkel i korn enn i halm, dvs. det

motsatte av det en finner for kadmium og kobolt.

pH-bestemmelser

pH er bestemt i jordprøver fra plantedyrkingskarene i de fleste år etter høsting.

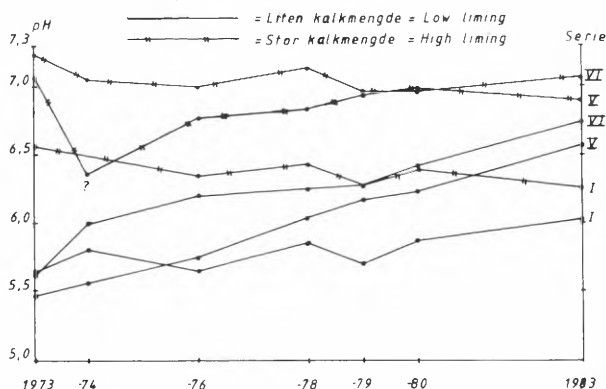


Fig. 1. F. 11/73. pH i jordprøver tatt om høsten fra kar med planter.

Fig. 1. Exp. 11/73. pH-values in soil samples from pots after harvesting.

Av figur 1 framgår det at ved minste kalkmengde stiger pH-kurvene for sandjord (VI) og torvjord (V) med vel 1 pH-enhet i løpet av forsøksperioden. For leirjord (I) er det først fra 1979 en sammenhengende, relativt liten stigning i pH. Stigningen antas i det vesentlige å skyldes den årlige tilførsel av kjemikalier, der $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ er gitt i relativt stor mengde. Ved stor kalkmengde viser kurvene for alle jordserier fallende pH fra 1973 til 1976, og deretter små endringer med en total nedgang i pH fra 1973 til 1983 varierende fra 0,16 til 0,31 pH-enheter (for torvjorda er sannsynligvis pH i 1974 blitt for låg).

Stigningen i pH-kurvene ved liten kalkmengde (A) og nedgangen ved stor kalkmengde (B) fører til at kurvene for de to kalkmengder nærmer seg hverandre i løpet av forsøksperioden. Tallmessig stiller dette seg slik i pH-enheter for differansen B-A:

	Serie I	Serie V	Serie VI
1973	0,92	1,60	1,61
1983	0,23	0,33	0,34

Av figur 1 merker en seg ellers at de to mineraljordserier hadde tilnærmet samme pH i 1973, mens den var 0,7 pH-enheter høyere for sandjorda i 1983.

Diskusjon

Ser en bort fra bly, har de øvrige tungmetaller ført til større eller mindre avlingsreduksjon. Tidsfaktoren og jordarten spiller her en stor rolle. Kvikksølv gitt i største mengde (250 mg) har således vært helt ødeleggende for havre det første og delvis det andre året i sandjordserien. For de andre jordseriene er

virkingen en *avlingsreduksjon*. Etter fire år er avlingen av normal størrelse i alle jordserier. Det samme gjelder *innholdet* av kvikksølv i plantene. Noen langtidsvirkning på avlingens størrelse og innhold har det således ikke vært.

For bly har 250 mg ført til en kortvarig økning i innhold i avlingen fra mineraljordseriene, mens innholdet i torvjordserien etter fire år fortsatt er betydelig større.

For kadmium, nikkel og kobolt finnes både fellestrekk og ulikheter sett i relasjon til kalking og jordart: For alle tre tungmetaller er innholdet i avling etter tilsetning av 50 eller 250 mg oftest mye større ved liten enn ved stor kalkmengde. I de første år er det også avlingsnedgang i alle jordserier ved liten kalkmengde. Seinere er det bare ved kobolttilsetning i torvjordserien en finner større avlingsnedgang. Mye tyder ellers på at denne (indusert jernmangel?) ville fortsatt utover forsøksperioden. For de andre stoffer ebber skadevirkningen etter hvert ut.

Det er ingen tvil om at hvis vekstforholdene hadde vært mindre gunstige, kunne en fått langtids skadevirkning av kadmium ved den forsinkende vekst og utvikling som ble observert i veksttiden. En jevnføring av analysetallene for mineraljordseriene i tabellene 2-4 viser at ved tungmetalltilsetning er tallene for kadmium ved avslutningen av forsøket ofte mye mindre redusert i forhold til innholdet ved starten enn tallene for nikkel og kobolt. Sett på lengre sikt vil således anrikning av kadmium i jorda under lignende forhold sannsynligvis føre til langt større risiko enn anrikning av nikkel og kobolt.

Redusert opptak av tungmetaller må en også regne med at pH-stigning i løpet av forsøksperioden har ført til. Ved liten

kalkmengde må en derfor betrakte reduksjonen i innhold av tungmetaller i avlingen som en sumvirkning av faktorene *tid* og *pH-økning*. Fordelingen mellom de to faktorer er usikker. Tidsfaktoren er viktig i dette forsøket. Nedgangen i innhold av tungmetaller i løpet av forsøksperioden er betydelig også ved *stor* kalkmengde til tross for at pH har ført til litt *nedgang* fra 1973 til 1983.

Av figur 1 framgår det at ved *liten* kalkmengde er det en markert divergering av pH-kurvene for de to mineraljordene gjennom forsøksperioden. Både for kadmium og kobolt er innholdet i avlingene ved 50 og 250 mg mye større i sandjordserien enn i leirjordserien i startåret (tab. 2 og 4). Mot slutten av forsøksperioden er innholdet derimot *mindre* i sandjordserien. Det ligger nær å anta at denne utviklingen i noen monn må skyldes den sterkere heving av pH i sandjorda i forsøksperioden. En lignende sammenligning for ledd med *stor* kalkmengde viser at det der er tilnærmet *samme* avstand mellom pH-kurvene gjennom hele forsøksperioden (0,54-0,68 høyere pH for sandjorda). Til tross for dette er mønsteret det samme som ved *liten* kalkmengde, med størst innhold i sandjordserien ved begynnelsen av forsøksperioden og minst mot slutten. Her må derfor pH-endringer ha spilt en underordnet rolle når det gjelder forskyvningen i opptak av kadmium og kobolt over tid.

Nikkel oppfører seg noe annerledes enn kadmium og kobolt. Dette framgår ikke direkte av tallene i tabell 3, da tallene i sluttfasen i serie I, leirjord, er *middel* av tre år. Tallene for siste (11.) år ligger således *lågere* enn tilsvarende år i serie VI, sandjord. Middeltallene i tabellen for 1.-3. år i serie I avviker

derimot ikke nevneverdig fra innholdet i 1. år.

Den vanlige oppfatning er at opptaket av kadmium i plantene blir redusert ved heving av pH. Undersøkelsene som ligger bak, er likevel ikke helt entydige. Ivai m.fl. (1975) fant i vannkulturforsøk med mais at *kalsium* reduserte opptaket av kadmium, mens varierende pH i intervallet 4-6 var uten virkning. Effekten av kalking skulle altså være knyttet til kalkens innhold av kalsium og ikke av pH-endringen. I et karforsøk ved Institutt for jordkultur, NLH i årene 1976-78 med havre og raigras dyrket i kvitmosetorv, ble virkningen av ekvivalente mengder kalsiumkarbonat og natriumhydroksyd på opptaket av kadmium sammenlignet. Det var ingen tydelig forskjell på de to baser på reduksjon av opptaket av kadmium. Tilførsel av gjødselkomposisjoner med ulikt kalsiuminnhold ga heller ikke tydelige forskjeller i kadmiumopptaket (forsøk utført for Norsk Hydro, men ikke publisert). For det aktuelle forsøk her som har gått i 11 år, må en ellers anta at sumvirkningen av kalken kan spenne betydelig videre enn den rene pH-endringen som følger av tilførsel av en base.

Sammendrag

I et karforsøk med tre serier av jord: leirjord, kvitmosetorv og sandjord, er tungmetallene kadmium, nikkel, kvikksølv, bly og kobolt tilført hver for seg i mengdene 50 og 250 mg rent metall pr. kar (sv. til 2 kg og 10 kg pr. dekar) som klorider. Alle ledd er kombinert med kalkmengder som har gitt pH-verdier på ca. 5,6 ved *liten* og 6,6-7,2 ved *stor* mengde ved forsøkets begynnelse. Forsøket har gått i årene 1973-83 med havre alle år.

Virkning på avlingsstørrelsen

Det vises til tabell 1. Stort sett er det bare største tungmetallmengde som har ført til avlingsnedgang og som blir kommentert her:

Kadmium. Avlingsreduksjon de første år og forsinket skyting og modning i flere år.

Nikkel. Stor avlingsreduksjon ved svak kalking de første år. Til dels også forsinket utvikling. Spesielle symptomer på bladverket.

Kvikksølv. Nesten fullstendig misvekst i sandjorda første året ved begge kalkmengder, andre året bare ved minste mengde. Senere ingen virkning. Noe redusert avling ved begge kalkmengder i torvjorda første året. I leirjorda redusert avling første året ved minste kalkmengde.

Bly. Ingen virkning.

Kobolt. Tydelig avlingsreduksjon ved svak kalking i alle jordserier de første år. I torvjorda avlingsreduksjon i hele forsøksperioden, dertil stripeklorose på bladene i denne serie, som sannsynligvis skyldes indusert jernmangel.

Innhold av tungmetall i avlingen

Kadmium. Se tabell 2. Her inngår også tall for et forsøk som har gått i årene 1974-83, der mindre mengder, etter tur 0,5 og 5 mg pr. kar, er tilsatt. Det er sterkt stigende innhold både i korn og halm for stigende mengde kadmium, men innholdet avtar sterkt i løpet av forsøksperioden. 0,5 mg har ikke hevet innholdet i avlinger fra leirjordserien, men i en større del av forsøksperioden i de to andre serier. Ved sterk dose-

ring er innholdet vesentlig høyere ved svak enn ved sterk kalking, og høyere i halm enn i korn.

Nikkel. Se tabell 3. Det er sterk økning i innholdet ved økt tilsetning, og sterk reduksjon i innholdet i løpet av forsøksperioden. Stor kalktilførsel reduserer innholdet i samtlige serier, mest i leirjord og minst i torvjord. Innholdet er vesentlig høyere i korn enn i halm.

Kvikksølv. Se tabell 5. Det er meget sterk økning i innholdet første året, men nesten ingen økning i mineraljordseriene fjerde året. I torvjordserien er det fortsatt høyere for begge mengder kvikksølv, men alle tallverdier er små. Innholdet er mye høyere i halm enn i korn.

Bly. I avlingene fra de to mineraljordserier øker innholdet med 25-50 pst. de to første år og med ca. 10 pst. de to påfølgende år. I torvjordserien, se tabell 6, er økningen mye større og varigere, og det er sterk reduksjon i innholdet for økt kalkmengde når bly samtidig er tilsatt. Innholdet er høyere i halm enn i korn.

Kobolt. Se tabell 4. Det er sterk økning av kobolt i avlingen ved tilsetning, særlig i torvjordserien. I alle serier er det sterk nedgang ved økt kalkmengde. Det er sterk nedgang i innholdet i løpet av forsøksperioden for mineraljordseriene, men betydelig mindre for torvjorda. Innholdet er større i halm enn i korn.

Tabell 7 viser opptatte mengder av tungmetaller i avlingen i forsøksperioden i prosent av tilsatt. Opptaket kan

rangeres slik: Ni > Cd > Co. Opptaket av disse tungmetaller er størst i torvjordserien.

Figur 1 viser kurver for pH gjennom forsøksperioden. Ved liten kalkmengde stiger pH i sandjorda og torvjorda i perioden med ca. 1,1 pH-enheter og i leirjorda med ca. 0,4 pH-enheter. Ved stor kalkmengde er det en mindre nedgang for pH i alle serier (0,16-0,31 pH-enheter). Det er uklart hva disse pH-enderinger har betydd for opptaket av tungmetaller i avlingen.

* * *

Forfatteren takker Oslo kommune, Vann- og avløpsverket, som har dekket alle utgifter til kjemiske analyser av jord og planter. Trykkingsutgifter ved sluttpublikasjonen blir også dekket av samme.

Summary

This paper describes a pot experiment in which heavy metals were added to three soil types: clay soil, peat soil and sandy soil. Cadmium, nickel, mercury, lead and cobalt were added individually as chlorides in amounts of 0 mg, 50 mg and 250 mg pure metal/pot. This is equivalent to 0 kg, 20 kg and 100 kg/hectare, combined with 2 rates of lime, giving pH-values of ca. 5.6 and 6.6-7.2 respectively. The crop grown in all years, 1973-1983, was oats.

Effects on crop yield

See table 1. As there were only two parallels for each treatment, minor differences in crop yield were ignored. In general, only the larger amounts of the heavy metals reduced the yield, as follows:

Cadmium. Yield reduction the first years, delayed development and ripening for several years.

Nickel. Light liming gave large yield reduction the first years, partly also delayed development. Characteristic symptoms on leaves.

Mercury. There was almost complete crop failure in sandy soil the first year by both rates of lime, the second year only with the smaller amount, and later on no effect. The yield on peat soil also was reduced by both lime rates the first year. The yield on clay soil was reduced by the smaller lime rate the first year.

Lead. No effect.

Cobalt. By low liming there was distinct yield reduction the first years on both mineral soils. On peat soil yield reduction was combined with interveinal chlorosis, probably caused by iron deficiency through the whole experimental period.

Heavy metals in the crops

Cadmium. See table 2, which also includes results of an experiment run in 1974-1983 with addition of smaller amounts, 0.5 mg and 5 mg per pot. There was a significant increase in cadmium content of the crop with increase in amount added, but the content decreased distinctly in the course of experimental

period. The content in the crop grown on peat soil and sandy soil increased during most of the experimental period by 0,5 mg cadmium. On clay soil this small content had no effect. Particularly in the case of high doses, the cadmium content in the crop was distinctly higher with weak liming than with heavy, and higher in straw than in grain.

Nickel. See table 3. The content was greatly increased by increased addition, and distinctly reduced in the course of the experimental period. The highest lime quantity gave a much smaller increase in all soil types. Lime had most positive effect in clay soil and least in peat soil. The content in grain was distinctly higher than in straw.

Mercury. See table 5. There was a great increase in the content the first year, but almost no increase on the mineral soils the fourth (last) year. On peat soil there was a continued increase in content for mercury, but all the numeric values are small. There was a much higher content in straw than in grain.

Lead. See table 6. The crop on the two mineral soils showed an increase of 25-50 per cent the first two years and ca. 10 per cent the following two years. On the peat soil there was a much larger and more persistent increase, as well as a distinct reduction in content by heavy liming when lead was added. Higher content in straw than in grain.

Cobalt. See table 4. There was a great increase in cobalt content after addition, especially on peat soil. On all soils there was a marked decrease by heavy liming. A strong decrease in content occurred during the experimental period on the

mineral soils, but distinctly less on the peat soil. Straw had a higher content of cobalt than grain.

Table 7 shows the amounts of heavy metals removed by the crops in per cent of the amount added during the experimental period 1973-1983. In general the order of removed heavy metals by the crops was: Ni > Cd > Co. Much more heavy metals were removed by the crops from the peat soil than from the mineral soils.

Figure 1 shows pH for the different soils during the experimental period. By low liming pH has increased ca. 1,1 pH-units in sandy soil and in peat soil and ca. 0,4 units in clay soil. By high liming pH has dropped for all soils, by 0,16-0,31 units. The experiment gives no sufficient answer concerning the influence of this change of pH on the uptake of heavy metals in the crops.

Litteratur

- Ivai, L. m.fl.* 1975. Factors affecting cadmium uptake by the corn plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 21 (1): 37-46.
- Sorteberg, A.* 1947. Melding fra Ny Jords forsøksgard på Smøla. *Ny Jord*, 55-113.
- Sorteberg, 1961.* Kar- og markforsøk med kopper og jern. *Forsk. Fors. Landbr.*, 81-139.
- Sorteberg, 1974.* The effect of some heavy metals on oats in pot experiment with three different soil types. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 3: 277-288.
- Sorteberg, 1978.* Effects of some heavy metals on oats in pot experiments with three different soil types. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 50: 317-334.